Application Note

5TE 土壌水分・温度・ECセンサー　インテグレーターズガイド

アプリケーション

- 体積含水率の測定
- 土壌水分バランス
- 灌漑管理
- 塩分管理
- 施肥管理
- 土壌温度測定
- 温度に影響を受けるモデル化プロセス

利点

- デジタルセンサーは３つの測定値を通信します。
- ２プローブのＥＣ測定
- 正確な測定のための丈夫なサーミスタ
- 低入力電圧
- 低電力設計は電池で動作するロガーに対応
- 腐食性の環境に耐性のエポキシ密封形成
- SDI-12、またはDDIシリアル　１ワイヤ型のシリアル通信プロトコルをサポート
- 低コストセンシングの為の最適化された最新設計

5TEセンサーは、土壌の体積含水率、温度、電気伝導度(EC)をモニターするための低コストな正確なツールです。すべての３つの測定は独立してされます。他のECH_2Oセンサーと同様に５TEは静電容量/周波数領域技術を用いて媒体の誘電率を測定することにより体積含水率(VWC)を測定します。センサーは70MHzの周波数を用いていますが、この領域ではテクスチャーや塩分の影響を最小限となるため、５TEは大半の土壌において正確な測定が可能です。５TEは内蔵されたサーミスタで温度を測定し、ステンレス製電極アレイを用いて電気伝導を測定します。

対象ユーザー

Decagonは、5TEセンサーと自身のデータ収集装置、またはフィールドデータロガーの間で通信を確立するのを助ける為に、このインテグレータガイドに情報を提供します。SDI-12センサー通信をサポートするデータロガーを用いているお客様は、それらのデータロガーの取扱説明書を参照ください。これらのセンサーは、プラグ＆プレイセンサー、セルラー対応自動計測機器をデータ分析ソフトウェアに完全に統合されます。

解説

測定仕様

	体積含水率	温度	電気伝導度(EC)
精　度	砂質土壌：±0.03m³/m³(±3%VWC)、土壌に合わせたキャリブレーション：±0.02 m³/m³(±2%VWC)	±１℃	±10%(0～7dS/m)、７～23dS/m(キャリブレーションが必要)
分解能	0～50%VWCの範囲で0.0008m³/m³ (0.08%VWC)	0.1℃	0.01dS/m(0～7dS/m)、0.05dS/m(7～23dS/m)
測定範囲	0～1 m³/m³(0～100%VWC)	-40～50℃	0～23dS/m

AINEX　アイネクス株式会社　〒144-0035　東京都大田区南蒲田２－１６－１
TEL：03-5713-0388　FAX：03-5713-1388　http://www.ai-nex.co.jp

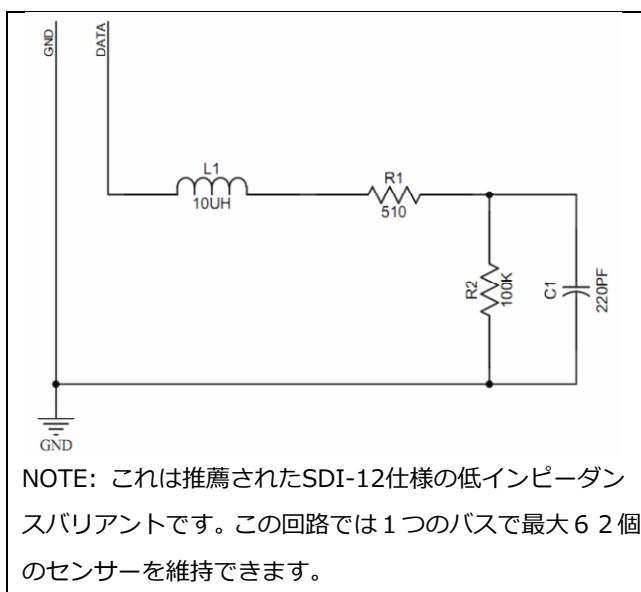
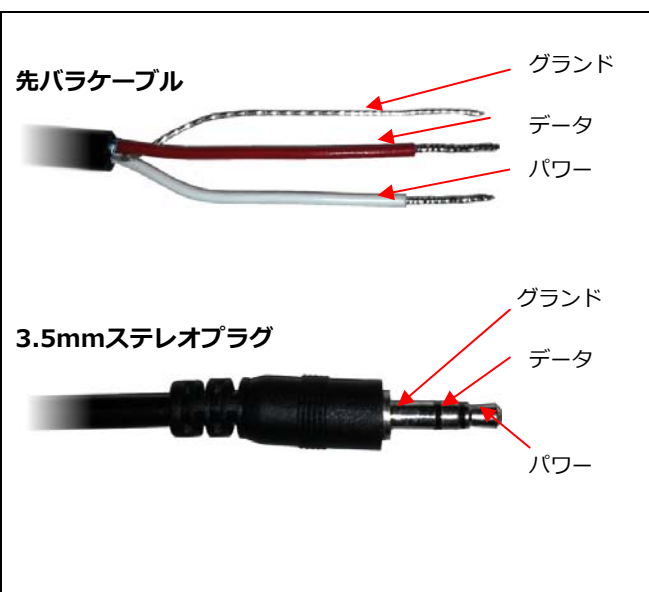
物理特性

センサーイメージ	
センサー名	5TE 土壌水分・温度・ECセンサー
寸法	10×3.2cm
ケーブル長さ	5ｍ

電気、及びタイミング特性

パラメータ	MIN	TYP	MAX	単位
印可電圧(VCC)	3.6		15	V
デジタル入力電圧(Logic High)	2.6	3	3.9	V
デジタル入力電圧(Logic Low)	-0.3	0	0.75	V
電流ドレイン(測定時)	0.5	3	10	mA
電流ドレイン(スリープ時)		0.03		mA
動作環境温度	-40		50	℃
起動時間(DDIシリアル)			100	mS
起動時間(SDI-12)	100	150	200	mS
電圧印加時間		150	200	mS
ケーブル容量／m		250		pF
ケーブル抵抗／m		35		MΩ

等価回路図

NOTE: これは推薦されたSDI-12仕様の低インピーダンスバリアントです。この回路では１つのバスで最大６２個のセンサーを維持できます。

配線図

安全性に関する注意事項

ECH$_2$Oプローブは最高水準で作られていますが、誤用、不適切な防護、不適切な設置などにより、センサーがダメージを受けたり、メーカー保証が無効になってしまうことがあります。センサーを各自のセンサー･ネットワークに統合する前に、推奨された設置方法に従って設置が行われており、センサーを破壊的な干渉から保護するための、適切な防護手段を講じたことを確認してください。

避雷及びサージ電流の防護

プローブには、通常のサージ電流からプローブを保護する回路が組み込まれています。しかし、落雷の多い地域に設置する際は、特別な配慮が必要です。特に、プローブが充分な接地機構を持つサードパーティーのログ装置と接続する場合は、注意が必要です。

詳しくは、弊社ウェブサイトで以下のアプリケーション・ノートをご参照ください:
Lightning Surge Suppression And Standard Grounding Practices

電力及び接地

旧タイプのセンサーは、電力が供給されると直ちに測定を開始します。旧タイプのセンサーの場合は、そのバスに繋がる全センサーに対し、最大センサー流出電力を同時的にサポートできるだけの電力があることを確認する必要があります。

データログ装置への電力供給や接地が不適切なやり方で行われている場合、弊社のセンサー防護回路では不十分なことがあるため、貴社で使用するデータログ装置の設置説明書をご参照ください。不適切な接地を行うと、センサー出力やセンサー性能に支障を来すことがあります。

Decagon 製ログ装置について、詳しくは、弊社ウェブサイトで以下の記載情報をご参照ください:
Lightning Surge Suppression And Standard Grounding Practices

ケーブルの障害

ケーブルの障害は、ケーブル断絶やセンサー断絶に至る可能性があります。ケーブルのトラブルを引き起こす原因として、「齧歯類によるダメージ」「センサー･ケーブル上を車で通過する」「ケーブルにつまずく」「設置時にケーブルの緩みが不十分」「センサー配線接続の不備」等が挙げられます。

アイネクス株式会社　〒144-0035　東京都大田区南蒲田２－１６－１
TEL：03-5713-0388　FAX：03-5713-1388　http://www.ai-nex.co.jp

センサーの通信タイプ

Decagon 社のデジタルセンサーは､センサー測定値の通信用に 1 ワイヤ型シリアルインターフェイスを用いる方式です。このセンサーは SDI-12 と DDI シリアルという、異なる 2 つのプロトコルをサポートしています。このガイドでは、両方のインターフェイスについて記述しています。それぞれのプロトコルには、各々メリットと実施上の難しさがありますが、各プロトコルで電圧値、ロジック・レベル、シグナルのタイミングが異なります。

SDI-12 の紹介

SDI-12 は、センサーをデータログ装置やデータ取得装置と接続するための規格に則ったプロトコルです。固有アドレスを持つ複数のセンサーが、共通の 3 ワイヤ型バス(接地/データ/電力)を共有できます。規格の定義に基づいてデータの送信ラインと受信ラインを兼用するため、センサーとログ装置の間で 2 方向の通信が可能となります。センサーによる測定は、プロトコルのコマンドにより起動します。

DDI シリアルの紹介

DDI シリアル・プロトコルは、Decagon 系のデータログ装置がセンサーからデータを収集するために用いている方式です。このプロトコルは、センサーから受信機のみにデータを送信するよう構成されたデータラインを用いています(simplex)。一般に受信側は、マイクロプロセッサ UART、又はデータ受信用に「ビットバン」方式を用いた汎用出入力ピンです。センサー測定は、センサーに電力が供給されると起動します。

センサーを PC に接続する

このセンサーによってサポートされるシリアル信号とプロトコルは、大半の PC (又は USB-シリアルアダプター)に組み込まれたシリアルポートとの適合性を確保するために､ある種のインターフェイス用ハードウエアを必要とします｡現在、数種類の SDI-12 インターフェイス・アダプターが市販されています。ただし、Decagon 社はこれらのインターフェイスを試験していないため、どのアダプターが Decagon 社のセンサーと適合するか推奨することはできません｡ Decagon 社の Em50 データログ装置 と携帯機 ProCheck は、双方とも、オンデマンドでセンサー測定を行えるコンピューター-センサー間のインターフェイスとして機能します。

アイネクス株式会社　〒144-0035　東京都大田区南蒲田２－１６－１

TEL：03-5713-0388　FAX：03-5713-1388　http://www.ai-nex.co.jp

SDI-12 通信

SDI-12 は、複数のセンサーを共通のデータラインに接続できます、共通バス通信プロトコルです。SDI-12 プロトコルの場合、バス上の各センサーに固有の英数文字センサー・アドレスを必要とし、データログ装置が特定センサーの読取値を送ったり受け取ったり出来るようになっています。

www.sdi-12.org で最新の SDI-12 仕様書をダウンロードしたり、この規格に関する詳しい情報を閲覧することができます。

DECAGON 社 SDI-12 の実施

Decagon 社センサーは、SDI-12 規格センサー回路の低インピーダンス・タイプを用いています (等価回路図を参照)。この回路では、規格で述べている 10 個のセンサーではなく、一度に最大 62 個のセンサーを一つのバスに接続できます。バス上にあるセンサー数が多いほど、故障したセンサーを隔離・除外して、SDI-12 バス上の残りのセンサーとの通信を回復するのが難しくなる点を念頭に置いてください。

工場出荷時、全ての Decagon 製センサーは SDI-12 アドレス 0 から始まり、「電気特性・タイミング特性」で指定した起動時間中に DDI-シリアル文字列(string)を印字します (ダイアグラムの詳細については、DDI-シリアルのセクションに記載の起動時シーケンス・ダイアグラムを参照)。 Decagon SDI-12 系以外のセンサーの場合、これは、その後にランダムなビットが続く擬似ブレーク状態として解釈されることがあります。この問題を回避するために、バージョン 3.29 以降のファームウェアを持つ 5TE センサーでは、SDI-12 アドレスが 0 でない場合、DDI-シリアル文字列は省略されます。SDI-12 バス上のセンサーのアドレスを 0 以外の数値に変更するだけで、センサー起動時のデータラインにおけるレース状態を防ぐことができます。

一旦起動すれば、弊社のセンサーは、連続測定コマンド (aR0 – aR9 及び aRC0 – aRC9)を除く、SDI-12 スペック v1.3 に記載された全てのコマンドに対し、完全な適合性を有します。

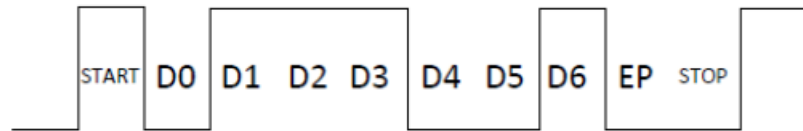
センサー・バスに関する留意点

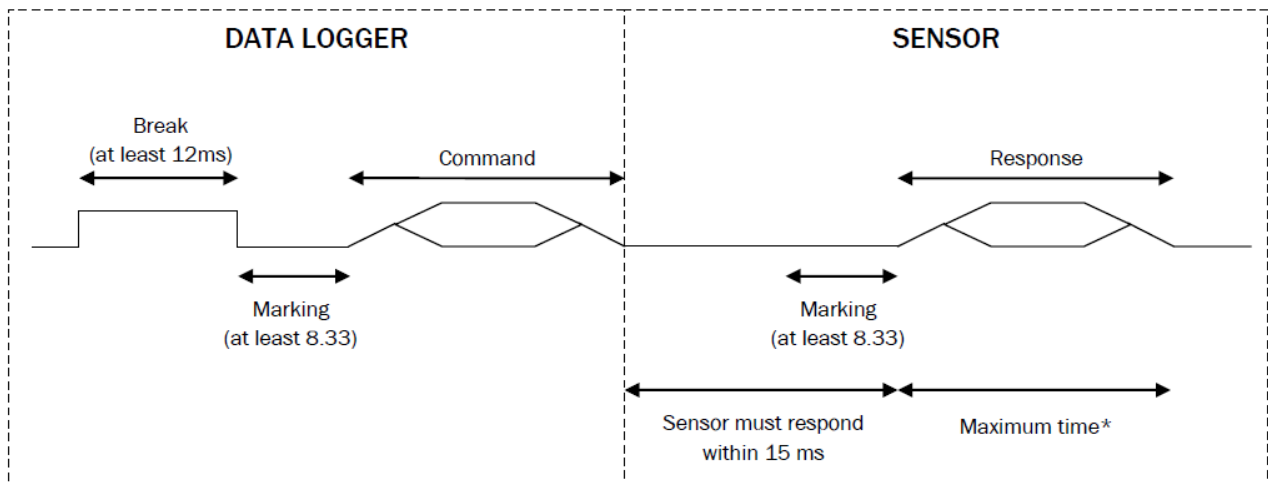
SDI-12 バスは、設定後、そのまま放置できるものではありません。センサー・バスには定期的なチェック、センサーのメンテナンス、センサーのトラブルシューティングが必要です。1 つのセンサーが機能しなくなった時は、たとえ残りのセンサーが正常に機能していても、バス全体が機能しなくなる場合があります。1 つのセンサーが故障している時、その SDI-12 バスでパワーサイクリングを実施することも可能ですが、SDI-12 バスの場合、1 日に 1～2 回以上パワーサイクリングを設定することは勧められません。

貴社のバス構成の効率性は多くの要因に左右され、「データはどの位の頻度でチェックすべきか?」「データはどの様にエンドユーザーに送られるのか?」「どうすれば故障したセンサーを切り離せるのか?」など、様々な疑問に対する回答が要求されます。

詳しくは、弊社ウェブサイトで以下のアプリケーション・ノートを参照し、SDI-12 センサー･ネットワークのベストプラクティスに関するバーチャルセミナーをお読みください。

SDI-12 タイミング

SDI-12 通信は、文字を 1 秒あたり 1200 ビットの速度で送ります。各文字は 1 開始ビット、7 データビット(LSB first)、1 偶数パリティビット、1 ストップビットを持ちます (負ロジック又は反転ロジックレベル):

文字「1」の SDI-12 での送信例 (0×31)

SDI-12 コマンド、及び応答は全て、データラインで以下の形式を順守してください。コマンドと応答のいずれも、その前にアドレスがあり、キャリッジリターンとラインフィードの組合せで終了します。

***最大時間**

380 mS	大半のコマンド
780 mS	同時測定後の D コマンド
810 mS	同時測定後の D コマンド、CRC の場合

共通 SDI-12 コマンド

以下は SDI-12 システムで多く用いられ、弊社センサーからの応答に対応する共通の SDI-12 コマンドのリストです:

インフォ・コマンド(aI!)

情報コマンドは、接続しているセンサーに関する様々な具体的情報を取得するのに利用できます。以下は、弊社センサーからの出力の一例です (ロガーのコマンドは太文字):

1I!113DECAGON　　5TE 329631800001

パラメータ	固定長さ	説明
1I!	3 文字	センサー･アドレス 1 からの情報を求めるデータログ装置からのリクエスト。
1	1 文字	センサー・アドレス。全ての応答の前に有り、バス上のどのセンサーがそれに続く情報を応答しているのかを知らせる。
13	2 文字	対象センサーが SDI-12 スペック v1.3 (2 文字)をサポートしていることを示す。
DECAGON	8 文字	メーカー認識文字列。このパラメータは全ての Decagon 製センサーで同一である。
5TE	6 文字	センサー型式文字列。この文字列は各センサーのタイプに固有である。5TE センサーでは文字列は「5TE」。
329	3 文字	センサーのバージョン。この数を 100 で割ると、弊社センサーのバージョンとなる。この場合は Decagon 製センサーのバージョンは 3.29。
631800001	最大 13 文字	センサーのシリアル番号。THE は可変長さのフィールド。古いセンサーではこれが省略されることがある。新しいセンサーは、ここにシリアル番号情報が含まれる。

* 固定長さがパラメータより長い場合は、行末文字に空白文字を入れます。

測定コマンド† (aM!)

測定コマンドは、センサー測定を開始するのに用いられます。以下は、弊社センサーからの出力の一例です (ログ装置のコマンドは文字):

1M!10013

パラメータ	固定長さ	説明
1M!	3 文字	アドレス 1 のセンサーに測定を開始するよう要求するデータログ装置からのリクエスト。
1	1 文字	センサー・アドレス。全ての応答の前に有り、バス上のどのセンサーがそれに続く情報を応答しているのかを知らせる。
001	3 文字	測定データは、この指定された時間(秒)の後に利用できるようになる。センサーがそれより早く完了したら、サービス･リクエスト(SDI-12 アドレスと応答文字列のフィード)を開始する。
3	1 文字	返される数値の数。

†測定とそれに対応するデータコマンドは、引き続いて用いられるよう設計されています。一度に複数のセンサーで測定を開始したい場合は、同時コマンドを用いてください。詳しくは SDI-12 スペック v1.3 の文書を ご参照ください。

データコマンド† (aD0!)

データコマンドは、センサーからの測定応答を検索するのに用いられます。各値に関しては、正又は負の数値符号で区切られる。以下は、弊社センサーからの出力の一例です (ログ装置のコマンドは太文字):

1D0!1+22.0+1.302+21.8

パラメータ	固定長さ	説明
1D0!	4 文字	アドレス 1 のセンサーに測定からの応答を返すよう要求するデータログ装置からのリクエスト(測定コマンドはデータコマンドを送る前に送る必要がある)。
1	1 文字	センサー・アドレス。全ての応答の前に有り、バス上のどのセンサーがそれに続く情報を応答しているのかを知らせる。
+22.0	可変	誘電 ε。鉱物性土壌での VWC に変換するためには、広く知られている Topp 式を用いることが望ましい (Topp et al, 1980): $$\theta = 4.3X10^{-6} * \varepsilon^3 - 5.5X10^{-4} * \varepsilon^2 + 2.92X10^{-2} * \varepsilon - 5.3X10^{-2}$$ 注意: その他の土壌タイプについては、センサー取扱説明書を参照のこと。
+1.302	可変	バルク導電率の測定値(dS/mm)。
+21.8	可変	温度測定値(°C)。

†測定とそれに対応するデータコマンドは、引き続いて用いられるよう設計されています。一度に複数のセンサーで測定を開始したい場合は、同時コマンドを用いてください。詳しくは SDI-12 スペック v1.3 の文書を ご参照ください。

アドレス変更コマンド(aAb!)

アドレス変更コマンドは、センサーのアドレスを新規のアドレスに変更するために用います。このコマンドを除き、その他全てのコマンドは、対象センサーのアドレスとしてワイルドカード特性をサポートしています。全 Decagon 製センサーの出荷時の初期アドレスは 0 (ゼロ) です。1 つのバス系統で弊社のセンサーを複数使用するには、各センサーが固有値になるようアドレスを変える必要があります。サポートするアドレスは、英数字です (= a – z、A – Z、0 – 9)。バスへの接続中にアドレスを変更するのは望ましくありません。以下は、弊社センサーからの出力の一例です (ログ装置のコマンドは文字):

1A0!0

パラメータ	固定長さ	説明
1A0!	4 文字	アドレス 1 のセンサーに、新たにアドレスを 0(ゼロ)にするよう要求するデータログ装置からのリクエスト。
0	1 文字	新規のセンサー・アドレス。この対象センサーでは、これに続くコマンド全てでこの新規のアドレスが使われる。

アドレス・クエリ・コマンド(?!)

バスから切断している時は、現在どのセンサーと通信しているかをアドレス・クエリ・コマンドを使って調べることができます。このコマンドをバス経由で送ると、全てのセンサーが同時的に応答するため、バス·コンテンションが生じ、データラインが損なわれます。このコマンドは、故障センサーを隔離したい時に役に立ちます。以下は、弊社センサーからの出力の一例です (ログ装置のコマンドは文字):

?!0

パラメータ	**固定長さ**	**説明**
?!	2 文字	データライン上でリスニングしているセンサーに応答を返すよう要求するデータログ装置からのリクエスト。
0	1 文字	センサー·アドレス。現在接続されているセンサーにセンサー・アドレスを返す。

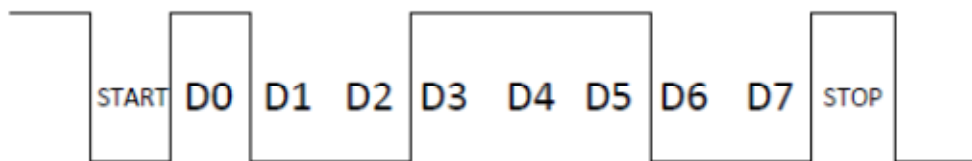
AINEX アイネクス株式会社 〒144-0035 東京都大田区南蒲田２－１６－１
TEL：03-5713-0388 FAX：03-5713-1388 http://www.ai-nex.co.jp

DDI-シリアル 通信

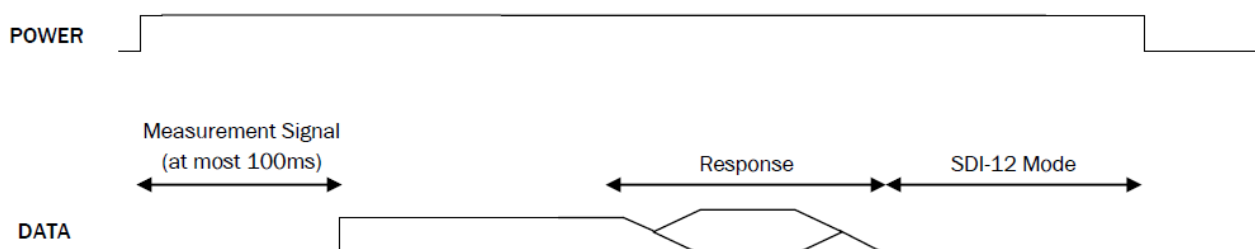
DDI-シリアル通信プロトコルは、各センサーに対し専用のシリアル信号ラインを用いるシステムや、複数のセンサーを処理するのにマルチプレクサを用いる、システムには最適なプロトコルです。シリアル通信は、0-3.6 ボルトの信号レベルの正ロジック･レベルをサポートする多くの TTL シリアル・インプリメンテーションに適合性を持ちます。センサーが起動する時、センサーはまず自動的に内蔵トランスデューサの測定を行い、その応答をデータライン経由で出力します。このプロトコルを用いているシステムは､センサーからのデータ転送を開始できるようセンサーの起動をコントロールしています。Decagon 社は一連のデジタルセンサーとデータログ装置の改良・拡張を行っているため、このプロトコルも変更になる可能性があります。

注意事項: 工場出荷時、全ての Decagon 製センサーは SDI-12 アドレス 0 から始まり、起動サイクル中に開始時文字列を印字します。バージョン 3.29 以降のファームウェアを持つセンサーでは、アドレスが 0 でない場合、開始時の文字列は省略されます。

DDI-シリアル･タイミング

DDI-シリアル通信は、文字を 1 秒あたり 1200 ビットの速度で送ります。各文字は 1 開始ビット、8 データビット(LSB first)を持ち、パリティビットは無く、ストップビットは 1 です (正ロジック又は非反転ロジックレベル):

文字「9」のシリアル送信例 (0×39)

起動後、センサーはデータラインを 100 mS に引き上げて、そのセンサーが読み込みを実施中であることを示します。読み込みが完了すると、そのセンサーはシリアル信号のデータラインへの送り出しを開始します。一旦データが送信されると、そのセンサーは SDI-12 通信モードへ移行します。別のシリアル信号を取得するには、センサーのパワーサイクル処理が必要です。

AINEX
アイネクス株式会社 〒144-0035 東京都大田区南蒲田２－１６－１
TEL：03-5713-0388 FAX：03-5713-1388 http://www.ai-nex.co.jp

注意: センサーからの信号は、往々にして一般的なマイクロプロセッサ UART を混同することがあります。センサーは、測定中はデータラインを負に維持しています。センサーは、ログ装置に上記の測定値を送るよう信号を伝える場合、データラインを正に引き上げます。その場合、同センサーは一般的な開始ビット(負)から始まる最初のデータバイトをクロックアウトする前に、数回の追加測定を行うことがあります。一旦最初の開始ビットが送信されると、一般的なシリアル・タイミングが有効になります。ただし、この時点より以前に信号の送信が行われると、シリアル信号でないため、UART で誤って解釈される可能性があります。

DDI-シリアル応答

センサーのデータ文字列の出力は、次の形式に近いものとする必要があります:

56 432 645<0D>zG<0D><0A>

パラメータ	説明
56	生出力 ＝ 誘電 ＊ 50 の形式での生誘電出力．鉱物性土壌での VWC に変換するためには、広く知られている Topp 式を用いることが望ましい (Topp et al, 1980): $\theta = 4.3X10^{-6} * \varepsilon^3 - 5.5X10^{-4} * \varepsilon^2 + 2.92X10^{-2} * \varepsilon - 5.3X10^{-2}$ この例では、「56 」は報告された見かけの生誘電値である。この数値を 50 で割ると 1.12 という数値が得られる。これはセンサー測定エアとして適切な数値である。 注意: その他の土壌タイプについては、センサー取扱説明書を参照のこと。
432	導電率 (dS/m)に 100 を掛けた数値。この数値を 100 で割ると dS/m(又は mS/cm)の値が得られる。 この数値は、5TE プローブの場合「US Salinity labs Handbook 60」で解説されている温度補正方法を用いて既に温度補正済みである。水道水を用いた EC の生数値は 10～80 (0.1 ～0.8 dS/m)の範囲で変化する。 この例では、432 は報告された生のバルク導電率である。この数値を 100 で割ると 4.32 dS/m という数値が得られる。 注意: 700 を超える生数値の場合、EC 値はまず次の式を用いて解凍する必要がある: $EC_{decompressed} = 5*(EC_{raw} - 700) + 700$
645	生温度(T_{raw}). $T_{raw} = 10*T + 400$。ここで T は摂氏温度である。これを温度に変えるためには、400 を引いて 10 で割る。 この例では、645 は報告された生の温度である。400 を引いて 10 で割ると 24.5°C という温度が得られる。 注意: 900 を超える T_{raw} 値の場合、摂氏温度に変換する前に T_{raw} をまず次の式を用いて解凍する必要がある: $T_{decompressed} = 5*(T_{raw} - 900) + 900$
<0D>	このキャリッジリターン文字は測定文字列の終了とメタデータ文字列の開始の信号である。

この文字列に含まれる下記の内容は全てメタデータである:

z	センサーのタイプ。この文字は、センサーのタイプを示すために用いる。Z は 5TE センサーに用いる。
G	チェックサム。弊社計測機器では、その送信されたデータが有効であることを確認するために、この 1 文字のチェックサムが用いられる。チェックサムは、上掲のセクションで用いられる: 56 432 645<0D>z C でどの様にチェックサムのアルゴリズムを実行するか示す例として、次の関数を参照のこと。
<0D><0A>	メタデータのセクションの終了と送信の終了を示す信号として、キャリッジリターンとラインフィードが用いられる。

DDI-シリアルのチェックサム

以下は、C におけるチェックサム (crc)の計算方法を示す一例です。この場合、関数へと送られる文字列は "56 432 645<0D>z" であり、返される数値が文字「G」となります。

```
char CalculateChecksum(char * Response){
    int length, sum = 0, i, crc;

    // Finding the length of the response string
    length = strlen(Response);

    // Adding characters in the response together
    for( i = 0; i < length; i++ )
        sum += Response[i];

    // Converting checksum to a printable character
    crc = sum % 64 + 32;

    return crc;
}
```


AINEX アイネクス株式会社 〒144-0035 東京都大田区南蒲田２－１６－１
TEL：03-5713-0388 FAX：03-5713-1388 http://www.ai-nex.co.jp